

K. E. Matzel · U. Stadelmaier · F. P. Gall

Direkte Elektrostimulation der sakralen Spinalnerven im Rahmen der anorektalen Funktionsdiagnostik

Eingegangen: 27. Dezember 1994

Direct electrostimulation of the sacral spinal nerves in diagnosis of anorectal function

Abstract A technique is demonstrated to evaluate the functional relevance of the sacral spinal nerves regarding anal sphincter function. Sacral spinal nerves S2, S3, S4 can be reached selectively for electrical stimulation by a dorsal approach through the sacral foramina. Electrical stimulation of S3 and S4 results in visible contraction of the different striated muscular anal sphincter components and in an increase of anal canal closure pressure. These effects differ among individuals. Thus, the functional relevance of each single sacral spinal nerve on the striated muscular anal sphincter can be tested specifically.

Key words Anus · Functional electrostimulation · Fecal incontinence · Sacral spinal nerves

Zusammenfassung Dargestellt wird eine Technik der direkten Elektrostimulation der sakralen Spinalnerven. Sie dient dazu, die anatomische Integrität dieser Nerven und ihre funktionelle Relevanz hinsichtlich der anorektalen Kontinenzfunktion zu prüfen. Die sakralen Spinalnerven S2, S3 und S4 sind über einen dorsalen Zugang durch die sakralen Foramina direkt und selektiv stimulierbar. Die direkte Elektrostimulation von S3 und S4 resultiert in Kontraktion der quergestreift muskulären Sphinkteranteile und in einem individuell unterschiedlichen Anstieg des Analkanalverschlußdrucks. Die Methode ermöglicht im Rahmen der anorektalen Funktionsdiagnostik die spezifische Beurteilung der funktionellen Relevanz einzelner sakraler Spinalnerven.

Die Aufrechterhaltung von Stuhlkontinenz ist die Leistung des analen Sphinkterapparats. Dessen quergestreifte Mus-

kulatur setzt sich aus Beckenbodenanteilen, insbesondere der Puborektalmuskelschlinge, und dem externen analen Sphinkter zusammen. Diese Muskeln erfüllen bei der Kontinenzwahrung 2 Funktionen: die Abknickung des anorektalen Übergangs und die Aufrechterhaltung einer Hochdruckzone im Analkanal. Die funktionelle Gewichtung der einzelnen Funktionen ist umstritten und scheint individuell zu variieren [1, 2, 4, 16, 23].

Die somatomotorische Innervation der quergestreiften Muskulatur des analen Kontinenzorgans wird kontrovers diskutiert. Traditionelle anatomische Darstellungen favorisieren die Versorgung von Puborektalisschlinge und externem analen Sphinkter durch den N. pudendus [8, 12, 13]. In-vivo-Untersuchungen sprechen für eine 2geteilte nervale Versorgung von Puborektalisschlinge und externem analen Sphinkter [3, 5, 14, 18, 22]. Letzte gemeinsame anatomische Wegstrecke dieser peripher 2geteilten Innervation sind die sakralen Spinalnerven.

Für das Verständnis anorektaler Funktionsstörungen, insbesondere der Stuhlinkontinenz, und für die Planung operativer chirurgischer Therapie ist die Kenntnis der Innervation des analen Sphinkterorgans und deren funktionellen Integrität von wesentlicher Bedeutung. Vorgestellt wird ein Verfahren, das es ermöglicht, einzelne sakrale Spinalnerven direkt mittels Elektrostimulation zu erregen. Vorliegende Arbeit dient dazu, zu überprüfen, ob das von Tanagho und Schmidt bei Funktionsstörungen des unteren Harntrakts etablierte Verfahren der perkutanen Nerven-evaluierung [9, 19, 20] im Rahmen anorektaler Funktionsdiagnostik sinnvoll Anwendung finden kann.

Die Teststimulation wurde durchgeführt, um

1. die Integrität der sakralen Spinalnerven zu überprüfen,
2. die funktionelle Relevanz der einzelnen sakralen Spinalnerven hinsichtlich der Aufrechterhaltung der analen Hochdruckzone zu beurteilen,
3. die funktionelle Integrität und die Leistungsreserven der von den sakralen Spinalnerven versorgten Muskulatur des analen Sphinkters zu testen,
4. zu überprüfen, ob die Elektrostimulation der sakralen Spinalnerven durch extern induzierte Muskelaktivierung

zu einer Steigerung des Analkanalverschlußdrucks führt und somit potentiellen therapeutischen Wert hat.

Patienten und Methode

Die Methode wurde an 5 Patienten, die unter Stuhlinkontinenz litten, erprobt. Die Ätiologie der Stuhlinkontinenz war unterschiedlich (Tabelle 1). Es handelte sich in allen Fällen um Formen der Stuhlinkontinenz, die geprägt waren durch imperativen, nicht verzögerbaren Stuhl drang und Stuhlverlust bei körperlicher Belastung und die als Folge einer reduzierten Willkürleistung des analen Sphinkters zu interpretieren waren. Die Reduktion der Willkürleistung des analen Sphinkters war klinisch und meßtechnisch anhand der Erniedrigung des maximalen Willkürdrucks und des mittleren Dauerdrucks, der dem maximalen Willkürdruck, gemessen über eine Zeitdauer von 30 s, entspricht, nachweisbar. Der Stuhlverlust war unabhängig von der Stuhlkonsistenz. Bei keinem der Patienten war mittels Inspektion, Palpation, Proktoskopie, Rektoskopie, endoanaler Sonographie und EMG ein morphologischer Substanzdefekt von Haut, Schleimhaut und Muskulatur des analen Sphinkterorgans nachweisbar.

Technik

Vor der Teststimulation wurden Röntgenaufnahmen des Beckens im frontalen Strahlengang und des Os sacrum im seitlichen Strahlengang durchgeführt, um anatomische Anomalien auszuschließen und einen Eindruck der individuell unterschiedlichen ossären Strukturen zu gewinnen.

Die Teststimulation wurde unter Vermeidung von langwirkenden Muskelrelaxantien in Vollnarkose durchgeführt.

Der Patient wurde in Bauchlage mit Unterpolsterung des Beckens gelagert. Im Bereich der Lendenwirbelsäule wurde eine Hyperlordosierung angestrebt. Zur Dokumentation der Analkanaldruckverhältnisse erfolgte die Platzierung eines Halbleiterdruckkatheters (Synectics Medical AB, 92-4504, Anorectal Solid State Pressure Catheter, 4 ch, Synectics Medical GmbH, Frankfurt/Main) in der Hochdruckzone des Analkanals (Abb. 2).

Die Meßdaten wurden PC-gestützt (PC 386 SX-25 Computer) über einen Analogdigitalwandler PC Polygraf HR (Synectics Medical GmbH, Frankfurt/Main), ein Synectics Computerinterface (Synectics Medical GmbH, Frankfurt/Main) und Softwareprogramm (Polygram Lower GI Vers. 5.06C4; Gastrosoft, Irving, Texas) erfaßt. Die Meßdatenanalysen erfolgten auf dem Bildschirm, die Dokumentation anhand eines Ausdrucks (HP-Laserjet 4ML, Hewlett-Packard-Company, Boise, Idaho).

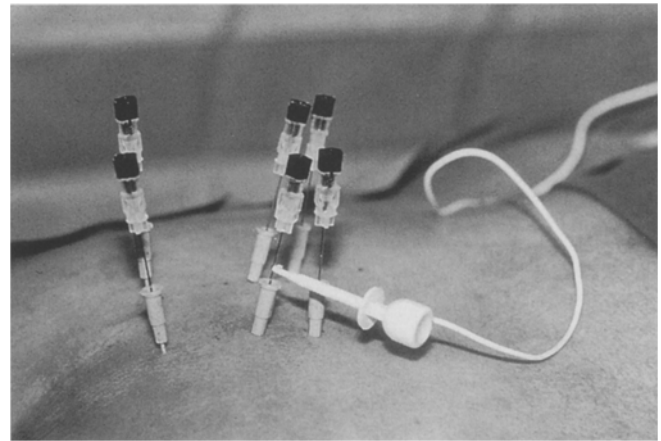


Abb. 1 In den sakralen Foramina S2–S4 platzierte Stimulationselektroden

Nach der Desinfektion der Haut im Bereich des Sakrums wurde bei der sterilen Abdeckung darauf geachtet, daß Anus, Perineum und die Füße sichtbar blieben (Abb. 2).

Als Stimulationselektroden wurden Spinalnadeln (Spinalnadel 22g, 3, 1/2, Becton & Dickenson, Franklin Lakes, New Jersey) verwendet, die mittels Teflonhülsen von Venenverweilkanülen (Angio-cath 20", 2' Becton & Dickenson, Sandy, Utah) isoliert worden waren. Die Spitze der Spinalnadel blieb auf eine Länge von 3 mm frei von Isolation.

Die Platzierung der Stimulationselektroden in die sakralen Foramina erfolgte perkutan von dorsal. Die Positionierung der Elektroden orientierte sich an der Konvexität des das Os sacrum bedeckenden Weichteilmantels. Eine Platzierung der Stimulationselektrode in der Achse der sakralen Foramina wurde angestrebt (Abb. 1, 2). Die Achse liegt im 90°-Winkel zur Ebene des Os sacrum.

Es folgte die Positionierung von Stimulationsnadeln in den sakralen Foramina S2, S3, S4 beidseits. Die sakralen Foramina sind in einer vertikalen Linie ungefähr 2 cm von der Mittellinie des Os sacrum und jeweils voneinander entfernt. S2 ist etwa 1 cm medial und 1 cm unterhalb der Spina iliaca posterior superior lokalisiert. S3 liegt in der Höhe der Spina ischiadiaca. Hinsichtlich der Tiefenplatzierung der Stimulationsnadel hilft die Orientierung an anatomischen Schichten unterschiedlichen Widerstandes, die zunächst mit der Fascia thoracolumbalis, dann mit der knöchernen Struktur des Os sacrum oder den das Foramen fest überspannenden Lig. sacroiliaca interossea korrelieren. Unterhalb letzterer Bandstruktur, innerhalb

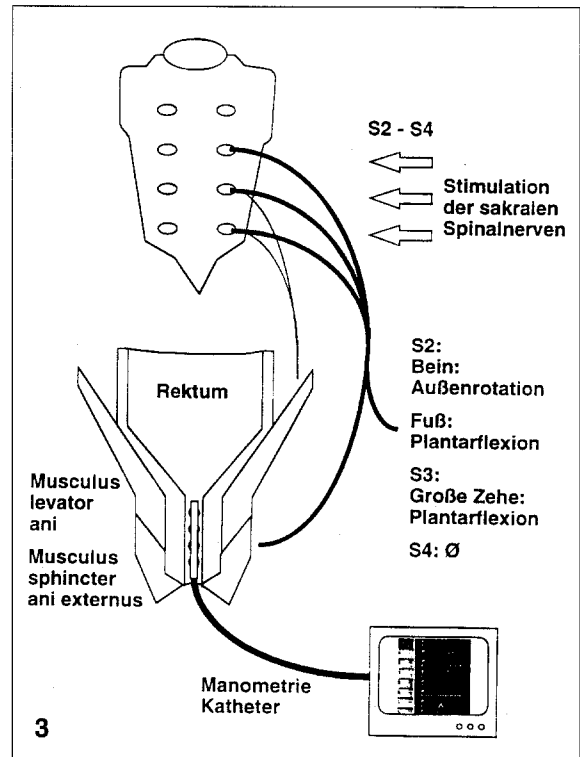
Tabelle 1 Ätiologie des Inkontinenzleidens und Befunde der anorektalen Manometrie

	Ätiologie	Manometrie
Patient 1	Zustand nach Hämorrhoidektomie 1992	Reduzierter Maximaldruck, reduzierter mittlerer Dauerdruck, normaler Ruhedruck
Patient 2	Zustand nach Hämorrhoidektomie 1989 Zustand nach periproktitischem Abszeß 1992	Reduzierter Maximaldruck, reduzierter mittlerer Dauerdruck, normaler Ruhedruck
Patient 3	Zustand nach Hämorrhoidektomie 1989	Grenzwertiger Maximaldruck, grenzwertiger mittlerer Dauerdruck, normaler Ruhedruck
Patient 4	Zustand nach vorderer Kolpoperineoplastik 1984 Zustand nach Rektumresektion bei Prolaps 1993	Reduzierter Maximaldruck, reduzierter mittlerer Dauerdruck, reduzierter Ruhedruck
Patient 5	Zustand nach abdominaler Hysterektomie 1982 Diabetes mellitus	reduzierter Maximaldruck, reduzierter mittlerer Dauerdruck, reduzierter Ruhedruck

Abb. 2 Patientenlage-
rung mit plazierten Stimu-
lationselektroden



Abb. 3 Schematische
Darstellung des Stimu-
lationstests, typische
muskuläre Begleitreak-
tionen der sakralen
Spinalnervstimula-
tion



des Foramens, liegt ein venöser Gefäßplexus, dessen Punktion zu kleinen Blutungen führen kann.

Die Lokalisationskontrolle der Stimulationsnadel ist unter Stimulation anhand typischer Begleitbewegungsreaktionen des Fußes und Unterschenkels möglich (Abb. 3).

Stimulation von S2 führt durch Miterregung von somatomotorischen Nervenfasern, die mit dem N. tibialis und dem N. peroneus profundus verlaufen und den M. biceps femoris und den M. flexor digitorum longus versorgen, zu einer Kontraktion der Wadenmuskulatur mit Außenrotation des Fußes und gelegentlich zu einer Plantarflexion des Fußes und der Zehen.

S3-Stimulation resultiert infolge von Erregung somatomotorischer Nervenfasern des S3-Segments, die mit dem N. tibialis verlaufen und den M. flexor hallucis longus versorgen, in der Plantarflexion der großen Zehe.

Die Stimulation von S4 führt nur zu einer Kontraktion des Beckenbodens ohne weitere Begleitmuskelreaktionen.

Zur Stimulation wurde der Stromkreis durch Verbindung der Anode mit einer indifferenten Elektrode auf der Haut des Patienten und der Kathode mit der positionierten Spinalnadel hergestellt. Die Teststimulation erfolgte durch einen externen Impulsgeber (Medtronic, Screener, Modell 3625, Minneapolis, Minnesota), der mit den Stimulationsnadeln über ein Kabel konnektiert wurde. Im Rahmen der Teststimulation wurde eine Spannung zwischen 0 und maximal 10 V gewählt, die Impulsbreite war mit 210 µs, die Frequenz mit 15 Hz fix eingestellt.

Der Effekt der Stimulation wurde visuell und manometrisch kontrolliert. Neben oben beschriebenen Begleitreaktionen führt die erfolgreiche Stimulation von S2, S3 und S4 zu in ihrem Ausmaß unterschiedlich intensiven und individuell unterschiedlichen Kontraktionen des Beckenbodens, die als eine Bewegung in kranioventraler Richtung wahrgenommen werden können, und zur Kontraktion des analen Sphinkters, die als zirkulär ausgerichtete Bewegung imponiert. Die Bewegungsmuster überlappen sich in der Regel. Die Effizienz der Stimulation der verschiedenen sakralen Spinalnerven hinsichtlich des Analkanalverschlusses wurde mittels oben beschriebener anorektaler Manometrieinheit dokumentiert.

Ergebnisse

Bei den untersuchten Patienten ließ sich mittels direkter Elektrostimulation der sakralen Spinalnerven eine qualitativ durch visuelle Kontrolle und quantitativ durch anorektale Manometrie nachweisbare, deutliche muskuläre Antwort des analen Sphinkterorgans provozieren (Abb. 4–8, Tabelle 2). Die jeweils funktionell relevanten sakralen Spinalnerven waren individuell unterschiedlich. In 3 Fällen war hinsichtlich der Analkanaldrucksteigerung der 4. sakrale Spinalnerv am effektivsten. S3-Stimulation hatte in 4 Fällen eine deutliche muskuläre Reaktion zur Folge. Das Bewegungsmuster und die Bewegungsintensität waren bei der Stimulation der beiden sakralen Nerven einer anatomischen Ebene in allen Fällen annähernd gleich.

Die aufgezeichneten Schwankungen der Druckkurven sind durch variablen Kontakt der Stimulationselektrode mit den Nerven während der Manipulationen bei der Elektrodenpositionierung bedingt.

Diskussion

Um Formen anorektaler Dysfunktion adäquat behandeln zu können, insbesondere in Fällen, bei denen sich mit gängigen diagnostischen Methoden keine morphologischen Defekte nachweisen lassen, ist ein differenziertes Ver-

Tabelle 2 Ergebnisse der perkutanen Teststimulation der sakralen Spinalnerven

Patient 1	Deutliche muskuläre Antwort Maximaler Anstieg des Analkanaldrucks	S3 beidseits, S4 beidseits S4 rechts: 19,7 mmHg (Abb. 4)
Patient 2	Deutliche muskuläre Antwort Maximaler Anstieg des Analkanaldrucks	S3 beidseits, S4 beidseits S3 rechts: 46,3 mmHg (Abb. 5)
Patient 3	Deutliche muskuläre Antwort Maximaler Anstieg des Analkanaldrucks	S3 beidseits, S4 rechts S4 rechts: 40,7 mmHg (Abb. 6)
Patient 4	Deutliche muskuläre Antwort Maximaler Anstieg des Analkanaldrucks	S3 beidseits, S4 beidseits S3 links: 86,8 mmHg (Abb. 7)
Patient 5	Deutliche muskuläre Antwort Maximaler Anstieg des Analkanaldrucks	S4 beidseits S4 rechts: 13,7 mmHg (Abb. 8)

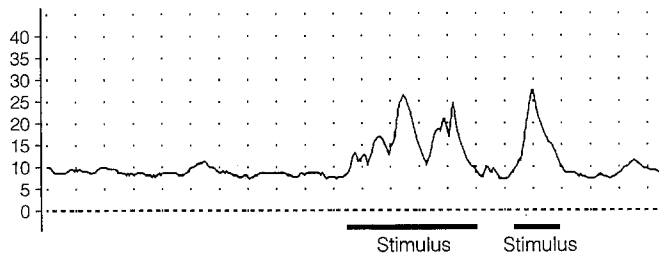


Abb. 4 Patient 1; akute perkutane Stimulation der sakralen Nerven, Manometrie: maximaler Anstieg des Analkanaldrucks: S4 rechts: 19,7 mmHg

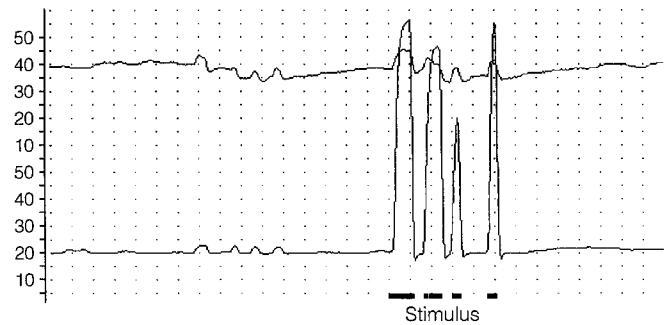


Abb. 7 Patient 4; akute perkutane Stimulation der sakralen Nerven, Manometrie: maximaler Anstieg des Analkanaldrucks: S3 links: 86,8 mmHg

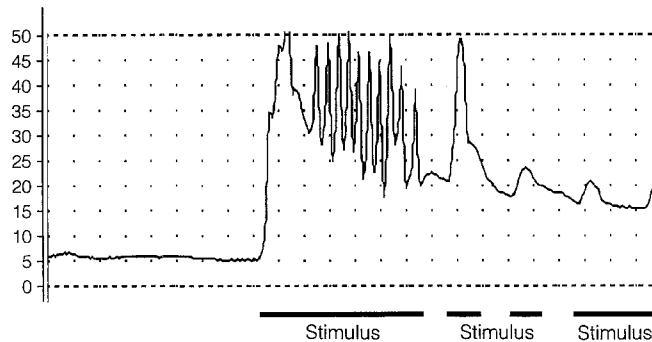


Abb. 5 Patient 2; akute perkutane Stimulation der sakralen Nerven, Manometrie: maximaler Anstieg des Analkanaldrucks: S3 rechts: 46,3 mmHg

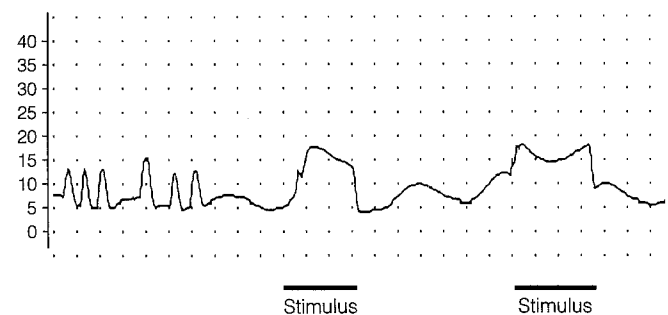


Abb. 8 Patient 5; akute perkutane Stimulation der sakralen Nerven, Manometrie: maximaler Anstieg des Analkanaldrucks: S4 rechts: 13,7 mmHg

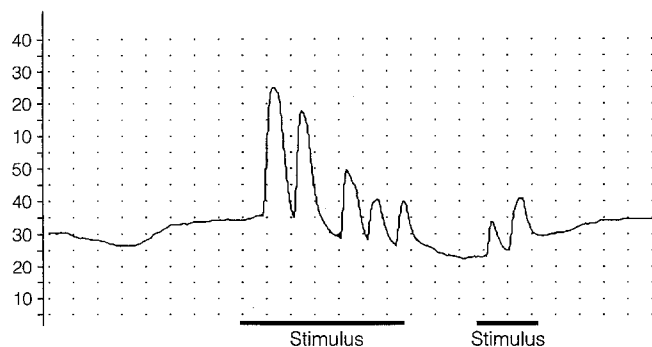


Abb. 6 Patient 3; akute perkutane Stimulation der sakralen Nerven, Manometrie: maximaler Anstieg des Analkanaldrucks: S4 rechts: 40,7 mmHg

ständnis der Funktion des anorektalen Sphinkters wesentlich. Im Rahmen derzeitig etablierter anorektaler Funktionsdiagnostik besteht hinsichtlich der Beurteilung der funktionellen Relevanz der einzelnen an der Innervation des Kontinenzorgans beteiligten somatomotorischen Nerven eine diagnostische Lücke.

Elektromyographische Untersuchungen sind hilfreich, um neurogene von muskulären Läsionen zu unterscheiden, erlauben aber keine qualitativen und quantitativen Aussagen zur funktionellen Bedeutung einzelner sakraler Spinalnerven und zu Muskelleistungsreserven [10, 15, 17]. Die Bestimmung der Pudendalnervenleistungsgeschwindigkeit ermöglicht Rückschlüsse auf die Integrität des sakralen Reflexbogens, erlaubt aber keine Unterscheidung zwischen Läsionen der efferenten und der afferenten

Innervation und ergibt keine Hinweise auf die muskuläre Leistungspotenz [10, 11]. Durch Oberflächenstimulation evozierte Potentiale sind Summationseffekte und in ihrer Aussagekraft hinsichtlich von Läsionen einzelner sakraler Spinalnerven relativ unspezifisch [10, 11, 21, 22]. Die anorektale Manometrie mißt die muskuläre Leistung des analen Sphinkters in Ruhe, bei Steigerung des intraabdominalen Drucks oder bei reflexbedingter Relaxation des internen analen Sphinkters sowie unter willentlicher Anspannung. Rückschlüsse auf die Integrität der nervalen Versorgung der Muskulatur des analen Sphinkters sind nur auf indirekte Weise möglich [6, 7, 24].

Die direkte Elektrostimulation der sakralen Spinalnerven kann wertvolle Information bei der Klassifikation von Dysfunktionen der Muskulatur von Beckenboden und analem Sphinkter liefern. Sie ermöglicht, zwischen der tatsächlichen Leistungsfähigkeit der Muskulatur und der Fähigkeit des Patienten, diese Muskeln willentlich zu aktivieren, zu unterscheiden. Derart kann zwischen verhaltensbedingten und nerval bedingten Funktionsstörungen unterschieden werden. Die direkte Elektrostimulation der sakralen Spinalnerven ermöglicht es, die funktionelle Relevanz einzelner sakraler Spinalnerven hinsichtlich der Aktivierung der quergestreiften Muskulatur des analen Sphinkterorgans seitengetrent zu bestimmen und Dysfunktionen zu lokalisieren oder auszuschließen.

Die Untersuchung kann problemlos auch in Lokalanästhesie durchgeführt werden [9, 19]. Bei den vorgestellten Patienten wurde die Vollnarkose unter Verwendung kurz wirksamer Muskelrelaxantien gewählt, da die Erfahrungen mit der dargestellten Methode noch limitiert waren und da unklar war, welche Stromstärken zur Teststimulation verwendet werden müssen, wenn mögliche Schmerzreaktionen ausgeschlossen werden sollten.

Die Methode der direkten Elektrostimulation der sakralen Spinalnerven bei der Diagnostik anorektaler Funktionsstörungen, insbesondere der Stuhlinkontinenz, birgt therapeutische Potenz. Die mittels Elektrostimulation induzierte Muskelkontraktion kann als Trainingseffekt im Rahmen der Behandlung falscher intentionaler Beckenbodenmuskelaktivierung genutzt werden. Die Testung kann auch der erste Schritt in der Evaluierung potentieller Patienten sein, die von einem therapeutischen Einsatz implantierbarer Stimulationssysteme zur permanenten Neurostimulation profitieren könnten.

Literatur

- Bannister JJ, Abouzekry L, Read NW (1987) Preservation of continence during rises in intraabdominal pressure: Is there a role for the flap valve. *Gut* 28:1242–1245
- Barnes PR, Hawley PR, Preston DM, Lennard-Jones JE (1985) Experience of posterior division of the puborectalis muscle in management of chronic constipation. *Br J Surg* 72:475–477
- Bartolo DCC, Jarratt JA, Read MG, Donnelly TC, Read NW (1983) The role of partial denervation of the puborectalis in idiopathic faecal incontinence. *Br J Surg* 70:664–667
- Bartolo DCC, Roe AM, Locke-Edmunds JC (1986) Flap valve theory of anorectal incontinence. *Br J Surg* 73:1012–1014
- Bartolo DCC, Roe AM, Mortensen NJM (1986) The relationship between perineal descent and denervation of the puborectalis in continent patients. *Int J Colorectal Dis* 1:91–95
- Coller JA (1987) Clinical application of anorectal manometry. *Clin North Am* 16:17–33
- Collins CD, Brown BH, Whittaker GE, Duthie HL (1969) New method of measuring forces in the anal canal. *Gut* 10:160–163
- Gagnard G, Godlewski G, Prat D, Lan O, Cousineau J, Maklouf Y (1986) The nerve branches to the external anal sphincter: the macroscopic supply and the microscopic structure. *Surg Radiol Anat* 8:115–119
- Hohenfellner M, Thüroff JW, Schultz-Lampel D, Schmidt RA, Tanagho EA (1992) Sakrale Neuromodulation zur Therapie von Miktionsstörungen. *Aktuell Urol* 23:I–X
- Kiff ES, Barnes S, Swash M (1984) Evidence of pudendal neuropathy in patients with perineal descent and chronic straining at stool. *Gut* 25:1279–1282
- Kiff ES, Swash M (1984) Slowed conduction in the pudendal nerves in idiopathic (neurogenic) faecal incontinence. *Br J Surg* 71:614–616
- Lawson JON (1974) Pelvic anatomy, I. Pelvic floor muscles. *Ann R Coll Surg Eng* 54:244–252
- Lawson JON (1974) Pelvic anatomy, II. Anal canal and associated sphincters. *Ann R Coll Surg Eng* 54:288–300
- Matzel KE, Schmidt RA, Tanagho EA (1990) Neuroanatomy of the striated muscular anal continence mechanism: Implications for the use of neurostimulation. *Dis Colon Rectum* 33:666–673
- Neill ME, Swash M (1980) Increased motor unit fibre density in external anal sphincter muscle in anorectal incontinence: A single fibre EMG study. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 43:343–347
- Parks AG, Porter NH, Hardcastle J (1966) The syndrome of the descending perineum. *Proc R Soc Med* 59:477–482
- Penninckx FM, Elliot MS, Hancke E, Henry MM, Kodner JJ, Kuypers JHC, Pemberton JH, Schuster MM (1987) Faecal incontinence. *Int J Colorectal Dis* 2:173–187
- Percy JP, Swash M, Neill ME, Parks AG (1980) Electrophysiological study of motor nerve supply of pelvic floor. *Lancet* I:16–17
- Schmidt RA, Senn E, Tanagho EA (1990) Functional evaluation of sacral nerve root integrity – report of a technique. *Urology* 15:388–392
- Schmidt RA, Tanagho EA (1990) Klinische Anwendung der Neurostimulation. *Urologe [A]* 29:191–195
- Snooks SJ, Swash M (1985) Motor conduction velocity in the human spinal cord, slowed conduction in multiple sclerosis and radiation myelopathy. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 48:1135–1139
- Snooks SJ, Swash M (1986) The innervation of the muscles of continence. *Ann R Coll Surg Engl* 68:45–49
- Varma KK, Stephens D (1972) Neuromuscular reflexes of rectal continence. *Aust NZJ Surg* 41:263–272
- Williamson JL, Nelson RL, Orsay C, Pearl RK, Abcarian H (1990) A comparison of simultaneous longitudinal and radial recordings of anal canal. *Dis Colon Rectum* 33:201–206